

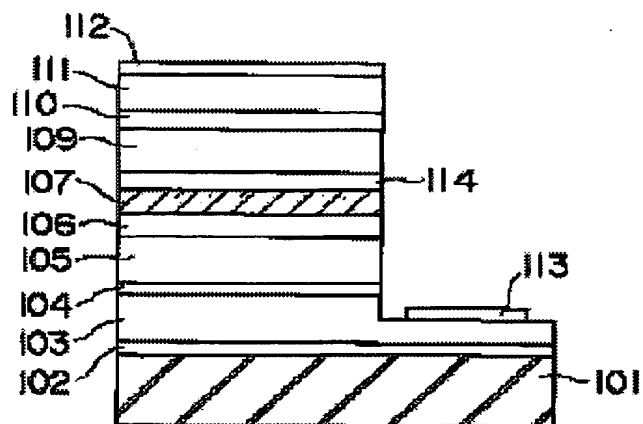
GROWTH METHOD OF INDIUM-CONTAINING NITRIDE SEMICONDUCTOR CRYSTAL

Patent number: JP2000077783
Publication date: 2000-03-14
Inventor: KIMURA AKITAKA; SASAOKA CHIAKI
Applicant: NEC CORP
Classification:
- International: H01S5/30; H01L21/205; H01L33/00
- european:
Application number: JP19980241417 19980827
Priority number(s):

Abstract of JP2000077783

PROBLEM TO BE SOLVED: To protect a quantum well layer and a barrier layer against damage by a method wherein an In-containing first nitride semiconductor layer is formed, a substrate is made to rise in temperature as a second another nitride semiconductor layer is formed, an In-free third nitride semiconductor layer is formed, and a first to a third process are successively carried out.

SOLUTION: When the semiconductor layers of a nitride laser are formed through a crystal growth method, an In-containing multi-quantum well structure active layer 107 is formed keeping a substrate at a temperature of 750 deg.C. The substrate temperature is made to rise from 750 deg.C to 1050 deg.C as a P-type GaN layer 114 is formed, and then an In-free P-type GaN optical guide layer 109 is formed at a temperature of 1050 deg.C. As mentioned above, the substrate is raised in temperature as the GaN layer 114 is formed after the In-containing active layer 107 is formed, so that In and Ga can be prevented from evaporating while the substrate is raised in temperature so as not to cause damage to a quantum well layer and a barrier layer above the active layer 107.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-77783

(P2000-77783A)

(43) 公開日 平成12年3月14日 (2000.3.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 S 5/30		H 0 1 S 3/18	5 F 0 4 1
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 5
33/00		33/00	C 5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数11 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-241417

(22) 出願日 平成10年8月27日 (1998.8.27)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 木村 明隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内

(72) 発明者 笹岡 千秋

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内

(74) 代理人 100096231

弁理士 稲垣 清

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法

(57) 【要約】

【課題】 結晶成長によりインジウムを含む半導体層を安定に形成する、例えば良好な活性層を備えた窒化物レーザを製造できる、インジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法を提供する。

【解決手段】 本方法では、少なくとも In を含む第1の窒化物半導体層を形成し、次いで第2の別の窒化物半導体層を形成しながら基板を昇温し、次に In を含まない第3の窒化物半導体層を形成する。これにより、従来のように、第1の窒化物半導体層の昇温中に In や Ga が蒸発し活性層の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題が生じない。また、従来のように低温で成長した結晶性の悪い第3の窒化物半導体層が活性層に接して存在するという問題も生じない。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくともInを含む第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、

第2の別の窒化物半導体層を形成しながら基板を昇温する第2の工程と、

Inを含まない第3の窒化物半導体層を形成する第3の工程とを少なくとも備え、第1から第3の工程の順序で行うことを特徴とするインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項2】 一般式 $In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N$ ($0 < X \leq 1, 0 \leq Y < 1$) で表される、少なくともインジウムを含む第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、

一般式 $In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N$ ($0 \leq X < 1, 0 \leq Y \leq 1$) で表される、第2の別の窒化物半導体層を形成しながら基板を昇温する第2の工程と、

一般式 $Al_{1-x}Ga_{1-x}N$ ($0 \leq X \leq 1$) で表される、Inを含まない第3の窒化物半導体層を形成する第3の工程とを少なくとも備え、第1から第3の工程の順序で行うことを特徴とするインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項3】 基板温度900℃以下で第1の工程を実施し、基板温度900℃以上で第3の工程を実施することを特徴とする請求項2に記載のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項4】 基板温度800℃以下で第1の工程を実施し、基板温度1000℃以上で第3の工程を実施することを特徴とする請求項2に記載のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項5】 一般式 $In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N$ ($0 < X \leq 1, 0 \leq Y < 1$) で表される障壁層と、一般式 $In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N$ ($0 < X \leq 1, 0 \leq Y < 1$) で表される井戸層とからなる、単一または多重量子井戸構造を形成する第1の工程と、

前記単一または多重量子井戸構造の最終層形成時と同じ原料供給量を保ちながら基板を昇温する第2の工程と、

一般式 $Al_{1-x}Ga_{1-x}N$ ($0 \leq X \leq 1$) で表される、Inを含まない窒化物半導体層を形成する第3の工程とを少なくとも備え、第1から第3の工程の順序で行うことを特徴とするインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項6】 少なくともInを含む第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、

前記第1の工程と実質的に同じ基板温度でAlを含む第2の窒化物半導体層を形成する第2の工程と、

基板を昇温する第3の工程と、

Alを含む第3の窒化物半導体層を形成する第4の工程とを少なくとも備え、第1から第4の工程の順序で行うことを特徴とするインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項7】 一般式 $In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N$ ($0 < X \leq 1, 0 \leq Y < 1$) で表される第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、

前記第1の工程と実質的に同じ基板温度で一般式 $In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N$ ($0 < X \leq 1, 0 \leq Y < 1$) で表される、第2の窒化物半導体層を形成する第2の工程と、

基板を昇温する第3の工程と、

一般式 $Al_{1-x}Ga_{1-x}N$ ($0 \leq X \leq 1$) で表される、第3の窒化物半導体層を形成する第4の工程とを少なくとも備え、第1から第4の工程の順序で行うことを特徴とするインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項8】 基板温度900℃以下で第1の工程を実施し、基板温度900℃以上で第4の工程を実施することを特徴とする請求項7に記載のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項9】 基板温度800℃以下で第1の工程を実施し、基板温度1000℃以上で第4の工程を実施することを特徴とする請求項7に記載のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項10】 有機金属化学気相成長法を用いて窒化物半導体層を形成することを特徴とする請求項1から9のうちのいずれか1項に記載のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【請求項11】 減圧有機金属化学気相成長法を用いて窒化物半導体層を形成することを特徴とする請求項1から10のうちのいずれか1項に記載のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、インジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法に関し、特に、結晶成長によりインジウムを含む半導体層を安定に形成する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 窒化ガリウムは、燐化インジウムや砒化ガリウムなどの他の化合物半導体に比べ、禁制帯エネルギーが3.4 eVと大きい。そのため、窒化ガリウム系の半導体を使って、窒素を構成元素として有する半導体、即ち窒化物半導体を用いた素子（以下、窒化物半導体素子と言う）、特に、緑から紫外の比較的短い波長で発光する素子（以下、窒化物半導体発光素子と言う）、例えば発光ダイオード（以下窒化物発光ダイオード）や半導体レーザー（以下窒化物半導体レーザー）が、実現している（例えば、S. Nakamura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) L74 など）。

【0003】 従来例1

図4は、インジウムを含む窒化物半導体結晶の従来の成長方法により製造された、窒化物半導体レーザーの断面図である（特開平10-27939号）。従来例1では、

有機金属化学気相成長(MOVPE)法により窒化物半導体レーザを製作している。A面を主面とするサファイア基板31の表面にGa_{0.3}Nよりなるバッファ層32を200Åの膜厚で成長させる。続いて温度を1050℃に上げ、Siドープn型Ga_{0.3}Nよりなるn型コンタクト層33を4μmの膜厚で成長させる。次に、温度を750℃まで下げ、SiドープIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなるクラック防止層34を500Åの膜厚で成長させる。

【0004】次に、温度を1050℃にして、Siドープn型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるn型光閉じこめ層35を0.5μmの膜厚で成長させる。続いて、Siドープn型Ga_{0.3}Nよりなるn型光ガイド層36を500Åの膜厚で成長させる。次に、活性層37を成長させる。活性層は温度を750℃に保持して、まずノンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を25Åの膜厚で成長させる。次に、同一温度で、ノンドープIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層を50Åの膜厚で成長させる。この操作を5回繰り返して、最後に井戸層を成長させ総膜厚375Åの膜厚の多重量子井戸構造よりなる活性層37を成長させる。

【0005】活性層37を成長させた後、温度を1050℃にしてMgドープp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるp型キャップ層38を100Åの膜厚で成長させる。次に、温度を1050℃に保持しながら、Mgドープp型Ga_{0.3}Nよりなるp型光ガイド層39を500Åの膜厚で成長させる。続いて、MgドープAl_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp型光閉じこめ層40を0.5μmの膜厚で成長させる。続いて、Mgドープp型Ga_{0.3}Nよりなるp型コンタクト層41を0.5μmの膜厚で成長させる。

【0006】次に、反応性イオンエッチング(RIE)装置にて、最上層のp型コンタクト層41からウェーハをエッチングして、負電極43を形成すべきn型コンタクト層33の表面を露出させる。次に、p型コンタクト層41の上から同じくRIEにより、エッチングを行い、p型コンタクト層41、p型光閉じこめ層40を3μm幅のストライプ状にエッチングして、リッジ形状とする。次に、p型コンタクト層の表面にNiとAuを含む正電極42を形成する。一方、先に露出させたn型コンタクト層33にはTiとAlよりなる連続したストライプ状の負電極43を形成する。

【0007】従来例2

図5は、インジウムを含む窒化物半導体結晶の従来の成長方法により製造された、窒化物半導体レーザの断面図である(特開平10-12969号)。従来例2でも、従来例1と同様、MOVPE法により窒化物半導体レーザを製作している。サファイアのA面を主面とする基板1を用意し、温度500℃でサファイア基板1の表面にGa_{0.3}Nよりなるバッファ層2を200Åの膜厚で成長させる。続いて、温度を1050℃に上げ、SiドープAl_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるn型コンタクト層3を4μm

の膜厚で成長させる。続いて、温度を1050℃に保持し、Siドープn型Ga_{0.3}Nよりなるn型クラッド層4を500Åの膜厚で成長させる。

【0008】次に、温度を750℃にして、Siをドープした活性層5を成長させる。活性層5は、まずSiを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度でドープしたIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を25Åの膜厚で成長させる。次に、同一温度で、ノンドープIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層を50Åの膜厚で成長させる。この操作を13回繰り返して、井戸+障壁+井戸+...+障壁+井戸層となるように積層して、総膜厚0.1μmの多重量子井戸構造よりなる活性層5を形成する。次に、Mgドープp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1のp型層6を100Åの膜厚で成長させる。次に、温度を1050℃にし、Mgドープp型Ga_{0.3}Nよりなる第2のp型層7を500Åの膜厚で成長させる。

【0009】次に、温度1050℃で、MgドープAl_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる第3のp型層8を0.3μmの膜厚で成長させる。続いて、1050℃でMgドープp型Ga_{0.3}Nよりなるp型コンタクト層9を0.5μmの膜厚で成長させる。p型コンタクト層9より選択エッチングを行い、n型コンタクト層3の表面を露出させ、露出したn型コンタクト層3と、p型コンタクト層9との表面にそれぞれストライプ状の電極を形成する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上述したようなインジウムを含む窒化物半導体結晶の従来の成長方法では、以下のような問題があった。成長方法、成長装置、成長条件等により多少異なるものの、一般的には、Inは、高温での蒸発が顕著であるため、In_xGa_{1-x}N(0<X≤1)の成長の際には、基板温度を900℃程度以下、好ましくは800℃程度以下とする必要がある。一方、NH₃の分解には高温が必要であるため、特にV族原料としてNH₃を用いた場合のMOVPE法では、Inを含まないAl_xGa_{1-x}N(0≤X≤1)の成長の際には900℃程度以上、好ましくは1000℃程度以上の基板温度が望ましい。このため、従来例1では、基板温度750℃でIn_{0.2}Ga_{0.8}Nの井戸層とIn_{0.01}Ga_{0.99}Nの障壁層からなる多重量子井戸構造の活性層37を成長させた後、基板温度1050℃でMgドープp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nのp型キャップ層38を成長させている。

【0011】しかし、従来例1では、温度750℃で活性層37を成長させた後、温度1050℃でp型キャップ層38の成長を開始する前に、成長を中断して基板を昇温しているため、昇温中にInが蒸発し、活性層37の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題があった。さらに、基板温度が1050℃に近づくと、InのみならずGaも蒸発をする。

【0012】一方、従来例2では、活性層5を基板温度

750℃で成長させた後、Mgドープp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1のp型層6を成長させ、次に、基板温度1050℃でMgドープp型Ga_{0.8}Nよりなる第2のp型層7を成長させている。しかるに、従来例2では、通常1000℃程度以上の基板温度で成長することが望ましいMgドープp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1のp型層6を、Inを含む活性層5と同じ基板温度750℃で形成している。このため、第1のp型層6は極めて結晶性が悪く、素子の特性に悪影響があるという問題があった。

【0013】なお、特開平10-27939号公報に開示の例では、従来例1のp型キャップ層38には、InGa_{0.8}Nよりなる活性層が分解することを防止するキャップ層としての作用があり、活性層の上にAlを含むp型窒化物半導体よりなるp型キャップ層38を成長させることにより発光出力が格段に向上するが、活性層に接するp層をGa_{0.8}Nとすると素子の出力が約1/3に低下してしまうとされている。その原因は、Al_xGa_{1-x}N (0<X≤1)がGa_{0.8}Nに比べてp型になりやすく、またp型キャップ層38成長時にIn_xGa_{1-x}N (0<X≤1)が分解するのを抑える作用があるためであると推察されているが、詳しいことは不明であるとも述べられている。

【0014】また、特開平10-12969号に開示の例では、従来例2の第1のp型層6を活性層5に接して形成することにより、素子の出力が格段に向上するとされている。その原因は、第1のp型層6成長時に活性層のInGa_{0.8}Nが分解するのを抑える作用があるためと推察されているが、詳しいことは不明であるとも述べられている。

【0015】以上のような問題から、本発明の目的は、結晶成長によりインジウムを含む半導体層を安定に形成する、例えば良好な活性層を備えた窒化物レーザを製造できる、インジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明に係るインジウムを含む半導体結晶の成長方法は、少なくともInを含む第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、第2の別の窒化物半導体層を形成しながら基板を昇温する第2の工程と、Inを含まない第3の窒化物半導体層を形成する第3の工程とを少なくとも備え、第1から第3の工程の順序で行うことを特徴としている。

【0017】また、本発明に係る別のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法は、一般式In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N (0<X≤1, 0≤Y<1)で表される、少なくともインジウムを含む第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、一般式In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N (0≤X<1, 0≤Y≤1)で表される、第2

(4) 開2000-77783 (P2000-77783A)

の別の窒化物半導体層を形成しながら基板を昇温する第2の工程と、一般式Al_{1-x}Ga_{1-x}N (0≤X≤1)で表される、Inを含まない第3の窒化物半導体層を形成する第3の工程とを少なくとも備え、第1から第3の工程の順序で行うことを特徴としている。

【0018】好適には、基板温度900℃以下で第1の工程を実施し、基板温度900℃以上で第3の工程を実施する。また、基板温度800℃以下で第1の工程を実施し、基板温度1000℃以上で第3の工程を実施する。

10

【0019】また、本発明に係る更に別のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法は、一般式In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N (0<X≤1, 0≤Y<1)で表される障壁層と、一般式In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N (0<X≤1, 0≤Y<1)で表される井戸層とからなる、単一または多重量子井戸構造を形成する第1の工程と、前記単一または多重量子井戸構造の最終層形成時と同じ原料供給量を保ちながら基板を昇温する第2の工程と、一般式Al_{1-x}Ga_{1-x}N (0≤X≤1)で表される、Inを含まない窒化物半導体層を形成する第3の工程とを少なくとも備え、第1から第3の工程の順序で行うことを特徴としている。

20

【0020】また、本発明に係る更に別のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法は、少なくともInを含む第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、前記第1の工程と実質的に同じ基板温度でAlを含む第2の窒化物半導体層を形成する第2の工程と、基板を昇温する第3の工程と、Alを含む第3の窒化物半導体層を形成する第4の工程とを少なくとも備え、第1から第4の工程の順序で行うことを特徴としている。

30

【0021】また、本発明に係る更に別のインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法は、一般式In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N (0<X≤1, 0≤Y<1)で表される第1の窒化物半導体層を形成する第1の工程と、前記第1の工程と実質的に同じ基板温度で一般式In_{1-x}Al_{1-y}Ga_{1-x-y}N (0<X≤1, 0≤Y<1)で表される、第2の窒化物半導体層を形成する第2の工程と、基板を昇温する第3の工程と、一般式Al_{1-x}Ga_{1-x}N (0≤X≤1)で表される、第3の窒化物半導体層を形成する第4の工程とを少なくとも備え、第1から第4の工程の順序で行うことを特徴としている。

40

【0022】好適には、基板温度900℃以下で第1の工程を実施し、基板温度900℃以上で第4の工程を実施する。また、基板温度800℃以下で第1の工程を実施し、基板温度1000℃以上で第4の工程を実施する。

【0023】上記本発明のインジウムを含む半導体結晶の成長方法に於いては、例えば、窒化物半導体層を形成する結晶成長方法として、MOVPE法を用いることが出来る。特に、減圧MOVPE法を用いることが出来る。

50

る。

【0024】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、実施形態例に基づき図面を参照して詳しく説明する。

実施形態例1

本実施形態例は、本発明に係るインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法の実施形態の一例である。図1は、本実施形態例の結晶の成長方法を用いて製造された、窒化物半導体レーザの概略断面図である。図1の窒化物レーザでは、基板温度750℃でInを含む活性層を形成した後、Mgを添加したGa_{0.15}N層を形成しながら基板温度を上げ、しかる後に基板温度1050℃でMgを添加したGa_{0.15}N層を形成している。窒化物レーザの半導体結晶層102、103、104、105、106、107、114、109、110、111は、減圧MOVPE法により成膜されている。

【0025】窒化物レーザは、C面を表面とするサファイア基板101上に、順次、基板温度500℃で形成された、厚さ300ÅのアンドープのGa_{0.15}N低温成長バッファ層102、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ3μmのn型Ga_{0.15}Nコンタクト層103、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.1μmのn型In_{0.05}Ga_{0.95}N層104、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.4μmのn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層105、及び、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.1μmのn型Ga_{0.15}N光ガイド層106を備えている。

【0026】また、窒化物レーザは、更に、光ガイド層106上に、順次、厚さ25ÅのアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N量子井戸層と、厚さ50ÅのアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる、基板温度750℃で形成された26周期の多重量子井戸構造活性層107、基板温度を750℃から1050℃まで昇温しながら形成され、かつMgが添加された厚さ100Åのp型Ga_{0.15}N層114、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.1μmのp型Ga_{0.15}N光ガイド層109、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.4μmのp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層110、及び、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.5μmのp型Ga_{0.15}Nコンタクト層111を備えている。また、窒化物レーザは、電極として、Ni(第1層)およびAu(第2層)からなるp電極112、Ti(第1層)およびAl(第2層)からなるn電極113を備えている。

【0027】実施形態例1では、図1に示す窒化物レーザの半導体結晶層を結晶成長により形成する際に、基板温度750℃でInを含む多重量子井戸構造活性層107を形成した後、p型Ga_{0.15}N層114を形成しながら基板温度を750℃から1050℃まで昇温し、次に基板

温度1050℃にてInを含まないp型Ga_{0.15}N光ガイド層109を形成している。このように、実施形態例1では、Inを含む活性層107を形成した後にGa_{0.15}N層114を形成しながら基板を昇温しているため、従来例1のように、昇温中にInやGaが蒸発して、活性層107の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題が生じない。また、従来例2のように、通常1000℃程度以上の基板温度で成長することが望ましいAl_{0.15}Ga_{0.85}N(0≤X≤1)を低温で形成することがないため、結晶性の悪い層が活性層107に接して存在することもない。

【0028】実施形態例2

本実施形態例は、本発明に係るインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法の実施形態の別の例である。図2は、本実施形態例の結晶の成長方法を用いて製造された、窒化物半導体レーザの概略断面図である。図2に示す窒化物レーザでは、基板温度750℃でInを含む活性層を形成した後、Mgを添加したGa_{0.15}N層を形成しながら基板温度を上げ、しかる後に基板温度1050℃でMgを添加したAl_{0.2}Ga_{0.8}N層を形成している。窒化物レーザの半導体結晶層102、103、104、105、106、107、114、108、109、110、111は、減圧MOVPE法により成膜されている。

【0029】図2の窒化物レーザは、C面を表面とするサファイア基板101上に、順次、基板温度500℃で形成された厚さ300ÅのアンドープのGa_{0.15}N低温成長バッファ層102、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ3μmのn型Ga_{0.15}Nコンタクト層103、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.1μmのn型In_{0.05}Ga_{0.95}N層104、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.4μmのn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層105、及び、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.1μmのn型Ga_{0.15}N光ガイド層106を備えている。

【0030】窒化物レーザは、更に、光ガイド層106上に、順次、厚さ25ÅのアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N量子井戸層と、厚さ50ÅのアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる、基板温度750℃で形成された26周期の多重量子井戸構造活性層107、基板温度を750℃から1050℃まで上げながら形成され、かつMgが添加された厚さ100Åのp型Ga_{0.15}N層114、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ200Åのp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層108、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.1μmのp型Ga_{0.15}N光ガイド層109、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.4μmのp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層110、及び、基板温度1050℃で形成され、かつMgが

添加された厚さ0.5 μm のp型Ga_{0.9}Nコンタクト層111を備えている。また、窒化物レーザは、電極として、Ni(第1層)およびAu(第2層)からなるp電極112、Ti(第1層)およびAl(第2層)からなるn電極113を備えている。

【0031】実施形態例2では、図2に示す窒化物レーザの半導体結晶層を結晶成長により形成する際に、実施形態例1と同様に、基板温度750℃でInを含む多重量子井戸構造活性層107を形成した後、p型Ga_{0.9}N層114を形成しながら基板温度を750℃から1050℃まで上げ、次に基板温度1050℃にてInを含まないp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層108を形成している。このように、実施形態例2では、Inを含む活性層107を形成した後にGa_{0.9}N層114を形成しながら基板を昇温しているため、実施形態例1と同様に、従来例1のように、昇温中にInやGaが蒸発し活性層107の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題が生じない。また、従来例2のように、通常1000℃程度以上の基板温度で成長することが望ましいAl_xGa_{1-x}N(0 \leq x \leq 1)を低温で形成することがないので、結晶性の悪い層が活性層107に接して存在することもない。

【0032】実施形態例3

本実施形態例は、本発明に係るインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法の実施形態の更に別の例である。図3は、本実施形態例の結晶の成長方法を用いて製造された、窒化物半導体レーザの概略断面図である。図3に示す窒化物レーザでは、基板温度750℃でInを含む活性層を形成した後、しかる後にMgを添加したAl_{0.2}Ga_{0.8}N層を形成しながら基板温度を上げていく。窒化物レーザの半導体結晶層102、103、104、105、106、107、118、109、110、111は、減圧MOVPE法により成膜されている。

【0033】図3に示す窒化物レーザは、C面を表面とするサファイア基板101上に、順次、基板温度500℃で形成された厚さ300ÅのアンダーのGa_{0.9}N低温成長バッファ層102、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ3 μm のn型Ga_{0.9}Nコンタクト層103、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.1 μm のn型In_{0.1}Ga_{0.9}N層104、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.4 μm のn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層105、及び、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.1 μm のn型Ga_{0.9}N光ガイド層106を備えている。

【0034】窒化物レーザは、更に、光ガイド層106上に、順次、厚さ25ÅのアンダーのIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層と、厚さ50ÅのアンダーのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる、基板温度750℃で形

成された26周期の多重量子井戸構造活性層107、基板温度を750℃から1050℃まで上げながら形成され、かつMgが添加された厚さ200Åのp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層118、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.1 μm のp型Ga_{0.9}N光ガイド層109、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.4 μm のp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層110、及び、基板温度1050℃で形成され、かつMgが添加された厚さ0.5 μm のp型Ga_{0.9}Nコンタクト層111を備えている。窒化物レーザは、電極として、Ni(第1層)およびAu(第2層)からなるp電極112、Ti(第1層)およびAl(第2層)からなるn電極113を備えている。

【0035】実施形態例3では、図3に示す窒化物レーザの半導体結晶層を結晶成長により形成する際に、実施形態例1および実施形態例2と同様に、基板温度750℃でInを含む多重量子井戸構造活性層107を形成した後、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層118を形成しながら基板温度を750℃から1050℃まで上げている。このように、実施形態例3では、Inを含む活性層107を形成した後にAl_{0.2}Ga_{0.8}N層を形成しながら基板を昇温しているため、実施形態例1および実施形態例2と同様に、従来例1のように、昇温中にInやGaが蒸発し活性層107の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題が生じない。また、従来例2のように、低温で成長した結晶性の悪いAl_xGa_{1-x}N(0 \leq x \leq 1)層が活性層107に接して存在するという問題もない。

【0036】実施形態例4

本実施形態例は、本発明に係るインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法の実施形態の更に別の例である。図6は、本実施形態例の結晶の成長方法を用いて製造された、窒化物半導体レーザの概略断面図である。図6に示す窒化物レーザでは、基板温度750℃でInを含む活性層を形成した後、Mgを添加したIn_{0.1}Ga_{0.9}N層を形成しながら基板温度を上げ、しかる後に基板温度1050℃でMgを添加したGa_{0.9}N層を形成していく。窒化物レーザの半導体結晶層102、103、104、105、106、107、115、109、110、111は、減圧MOVPE法により成膜される。

【0037】図6に示す窒化物レーザは、C面を表面とするサファイア基板101上に、順次、基板温度500℃で形成された厚さ300ÅのアンダーのGa_{0.9}N低温成長バッファ層102、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ3 μm のn型Ga_{0.9}Nコンタクト層103、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.1 μm のn型In_{0.1}Ga_{0.9}N層104、基板温度1050℃で形成され、かつ珪素が添加された厚さ0.4 μm のn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層105、及び、基板温度1050℃で

形成され、かつ珪素が添加された厚さ $0.1\mu\text{m}$ のn型Ga_{0.9}N光ガイド層106を備えている。

【0038】窒化物レーザは、更に、光ガイド層106上に、順次、厚さ 25\AA のアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層と、厚さ 50\AA のアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる、基板温度 750°C で形成された26周期の多重量子井戸構造活性層107、基板温度を 750°C から 1050°C まで上げながら形成され、かつMgが添加された厚さ 100\AA のp型In_{0.1}Ga_{0.9}N層115、基板温度 1050°C で形成され、かつMgが添加された厚さ $0.1\mu\text{m}$ のp型Ga_{0.9}N光ガイド層109、基板温度 1050°C で形成され、かつMgが添加された厚さ $0.4\mu\text{m}$ のp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層110、及び、基板温度 1050°C で形成され、かつMgが添加された厚さ $0.5\mu\text{m}$ のp型Ga_{0.9}Nコンタクト層111を備えている。窒化物レーザは、電極として、Ni(第1層)およびAu(第2層)からなるp電極112、Ti(第1層)およびAl(第2層)からなるn電極113を備えている。

【0039】実施形態例4では、図6に示す窒化物レーザの半導体結晶層を結晶成長により形成する際に、基板温度 750°C でInを含む多重量子井戸構造活性層107を形成した後、p型In_{0.1}Ga_{0.9}N層115を形成しながら基板温度を 750°C から 1050°C まで上げ、次に基板温度 1050°C にてp型Ga_{0.9}N光ガイド層109を形成している。なお、前記In_{0.1}Ga_{0.9}N層115は、基板を 750°C から 1050°C まで昇温しながら形成しているが、Inのエピタキシャル成長層への取り込まれ量は基板温度に強く依存し、Inの取り込まれ係数は基板温度が高くなるにつれ小さくなる。よって、実際には、前記In_{0.1}Ga_{0.9}N層115の組成は、下部では表記通りIn_{0.1}Ga_{0.8}Nであるが、上部ではGa_{0.9}Nに近いものとなっている。Ga_{0.9}N層ではなくIn_xGa_{1-x}N($0 < x < 1$)層を形成しながら基板を昇温した場合、昇温前半はInの結晶への取り込みにより、また、昇温後半は高温で形成することにより、結晶品質を維持したまま、基板の昇温を行なうことが可能である。

【0040】このように、実施形態例4では、Inを含む活性層107を形成した後にIn_{0.1}Ga_{0.9}N層115を形成しながら基板を昇温しているので、実施形態例1ないし実施形態例3と同様に、従来例1のように、昇温中にInやGaが蒸発し活性層107の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題が生じない。また、従来例2のように低温で成長した結晶性の悪いAl_xGa_{1-x}N($0 \leq x \leq 1$)層が活性層107に接して存在するという問題もない。

【0041】実施形態例5

本実施形態例は、本発明に係るインジウムを含む窒化物半導体結晶の成長方法の実施形態の更に別の例である。

図7は、本実施形態例の結晶の成長方法を用いて製造された、窒化物半導体レーザの概略断面図である。図7に示す窒化物レーザでは、基板温度 750°C でInを含む活性層を形成し、続いて同じく基板温度 750°C でMgを添加したAl_{0.2}Ga_{0.8}N層を形成した後、成長を中断して基板を昇温し、基板温度 1050°C でMgを添加したAl_{0.2}Ga_{0.8}N層を形成している。窒化物レーザの半導体結晶層102、103、104、105、106、107、116、118、109、110、111は、減圧MOVPE法により成膜される。

【0042】図7に示す窒化物レーザは、C面を表面とするサファイア基板101上に、順次、基板温度 500°C で形成された厚さ 300\AA のアンドープのGa_{0.9}N低成長バッファ層102、基板温度 1050°C で形成され、かつ珪素が添加された厚さ $3\mu\text{m}$ のn型Ga_{0.9}Nコンタクト層103、基板温度 1050°C で形成され、かつ珪素が添加された厚さ $0.1\mu\text{m}$ のn型In_{0.1}Ga_{0.9}N層104、基板温度 1050°C で形成され、かつ珪素が添加された厚さ $0.4\mu\text{m}$ のn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層105、及び、基板温度 1050°C で形成され、かつ珪素が添加された厚さ $0.1\mu\text{m}$ のn型Ga_{0.9}N光ガイド層106を備えている。

【0043】窒化物レーザは、更に、光ガイド層106上に、順次、厚さ 25\AA のアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層と、厚さ 50\AA のアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる、基板温度 750°C で形成された26周期の多重量子井戸構造活性層107、基板温度 750°C で形成され、かつMgが添加された厚さ 50\AA のp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層116、基板温度 1050°C で形成され、かつMgが添加された厚さ 100\AA のp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層108、基板温度 1050°C で形成され、かつMgが添加された厚さ $0.1\mu\text{m}$ のp型Ga_{0.9}N光ガイド層109、基板温度 1050°C で形成され、かつMgが添加された厚さ $0.4\mu\text{m}$ のp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層110、及び、基板温度 1050°C で形成され、かつMgが添加された厚さ $0.5\mu\text{m}$ のp型Ga_{0.9}Nコンタクト層111を備えている。窒化物レーザは、電極として、Ni(第1層)およびAu(第2層)からなるp電極112、Ti(第1層)およびAl(第2層)からなるn電極113を備えている。

【0044】実施形態例5では、図7に示す窒化物レーザの半導体結晶層を結晶成長により形成する際に、基板温度 750°C でInを含む多重量子井戸構造活性層107を形成し、続いて基板温度 750°C でp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層116を形成した後、一旦、成長を中断し、基板を 750°C から 1050°C まで昇温し、しかる後に基板温度 1050°C でp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層108を形成している。この場合、基板の昇温は成長を中断して行なっているものの、前記昇温はInを含む活性層1

10

20

30

40

50

07と同じ基板温度でp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層116を形成した後に行なっている。

【0045】AlはGaに比べて蒸発し難く、発明者らの実験によれば、Inを含む活性層107を形成した後に、続いてInを含む活性層107形成時と同じ基板温度で、仮にGaが全て蒸発したとしてもAlNが単原子層以上残る程度の厚さと組成の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$)層を形成しておけば、続いて基板を昇温した際に、Inを含む活性層107の蒸発を防止する効果があることが分かっている(特願平9-213273号参照)。よって、実施形態例1ないし実施形態例4と同様に、従来例1のように、昇温中にInやGaが蒸発し活性層107の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題が生じない。また、低温で形成したp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層116の厚さは50Åと薄いため、従来例2のように、低温で成長した結晶性の悪い $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)層が活性層107に接して存在することによる素子特性への悪影響も少ない。

【0046】なお、実施形態例5では、Inを含む窒化物活性層107形成時の基板温度とp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層116形成時の基板温度とは、厳密に同じである必要はなく、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層116形成時の基板温度がInを含む活性層107形成時の基板温度に対し+50℃程度以下であれば、実質的に同じと見なすことが出来る。

【0047】特開平10-27939号公報では、従来例1に示されたp型キャップ層38は、InGa_{0.5}Nよりなる活性層が分解するのを防止するキャップ層としての作用があり、活性層に接するp層をGa_{0.5}Nとすると素子の出力が約1/3に低下してしまうと述べている。また、特開平10-12969号公報でも、従来例2に示された第1のp型層6は、活性層5に接して形成することにより、素子の出力が格段に向上するとされている。しかしながら、我々の実験では、実施形態例2に示されたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層108を、従来例1および従来例2に示されたように、活性層に接して形成しようとした場合、前述の「発明が解決しようとする課題」の欄で述べたような問題がある一方で、素子光出力が向上する効果は見られなかった。

【0048】本発明の実施形態例では、サファイアC面基板上に形成された窒化物レーザを例にして説明したが、本発明の適用は、実施形態例1ないし実施形態例5に示されたエピタキシャル層構造にのみ限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で、あらゆるエピタキシャル層構造の窒化物レーザに適用可能である。また、サファイアC面基板上に形成された窒化物レーザだけでなく、C面以外の面を表面とするサファイア基板上に形成された窒化物レーザに於いても、本発明は支障なく実施することが出来る。さらに、サファイア基板以外の基板上に形成された窒化物レーザに於いても、

本発明は支障なく実施することが出来る。さらに、窒化物レーザだけでなく、窒化物発光ダイオードなどの、他の窒化物発光素子に於いても、本発明は支障なく実施することが出来る。

【0049】

【発明の効果】本発明によれば、少なくともInを含む第1の窒化物半導体層を形成し、次いで第2の別の窒化物半導体層を形成しながら基板を昇温し、次にInを含まない第3の窒化物半導体層を形成することにより、従来のように、第1の窒化物半導体層の昇温中にInやGaが蒸発し活性層の上部の量子井戸層や障壁層が破壊されるという問題が生じない。また、従来のように低温で成長した結晶性の悪い第3の窒化物半導体層が活性層に接して存在するという問題も生じない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態例1の結晶成長方法を用いて製造された、窒化物レーザの概略断面図である。

【図2】本発明の実施形態例2の結晶成長方法を用いて製造された、窒化物レーザの概略断面図である。

【図3】本発明の実施形態例3の結晶成長方法を用いて製造された、窒化物レーザの概略断面図である。

【図4】従来例1の従来の結晶成長方法を用いて製造された、窒化物レーザの概略断面図である。

【図5】従来例2の従来の結晶成長方法を用いて製造された、窒化物レーザの概略断面図である。

【図6】本発明の実施形態例4の結晶成長方法を用いて製造された、窒化物レーザの概略断面図である。

【図7】本発明の実施形態例5の結晶成長方法を用いて製造された、窒化物レーザの概略断面図である。

【符号の説明】

- 1 サファイアのA面を主面とする基板
- 2 バッファ層
- 3 Siドープ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるn型コンタクト層
- 4 Siドープn型Ga_{0.5}Nよりなるn型クラッド層
- 5 Siをドープした多重量子井戸構造よりなる活性層
- 6 Mgドープp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1のp型層
- 7 Mgドープp型Ga_{0.5}Nよりなる第2のp型層
- 8 Mgドープ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる第3のp型層
- 9 Mgドープp型Ga_{0.5}Nよりなるp型コンタクト層
- 31 A面を主面とするサファイア基板
- 32 Ga_{0.5}Nよりなるバッファ層
- 33 Siドープn型Ga_{0.5}Nよりなるn型コンタクト層
- 34 Siドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるクラック防止層
- 35 Siドープn型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるn型光閉じこめ層
- 36 Siドープn型Ga_{0.5}Nよりなるn型光ガイド層

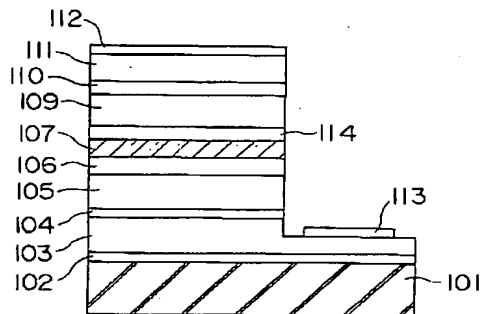
15

- 37 多重量子井戸構造よりなる活性層
 38 Mgドーパp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるp型キャップ層
 39 Mgドーパp型GaNよりなるp型光ガイド層
 40 MgドーパAl_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp型光閉じこめ層
 41 Mgドーパp型GaNよりなるp型コンタクト層
 42 NiとAuを含む正電極
 43 TiとAlよりなる負電極
 101 C面サファイア基板
 102 GaN低温成長バッファ層
 103 n型In_{0.2}Ga_{0.8}Nコンタクト層
 104 n型In_{0.1}Ga_{0.9}N層
 105 n型Al_{0.15}Ga_{0.85}N層

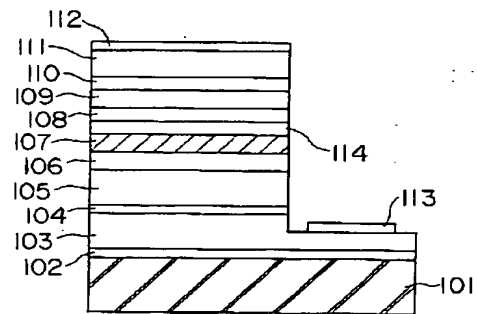
16

- 106 n型GaN光ガイド層
 107 In_{0.2}Ga_{0.8}N/In_{0.05}Ga_{0.95}N多重量子井戸活性層
 108 高温で形成されたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層
 109 p型GaN光ガイド層
 110 p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 111 p型In_{0.2}Ga_{0.8}Nコンタクト層
 112 NiおよびAuからなるp電極
 113 TiおよびAlからなるn電極
 10 114 p型GaN層
 115 p型In_{0.1}Ga_{0.9}N層
 116 低温で形成されたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層
 118 基板を昇温しながら形成されたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層

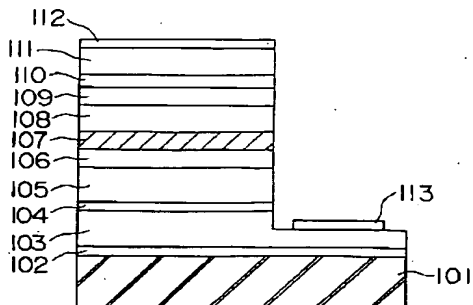
【図1】



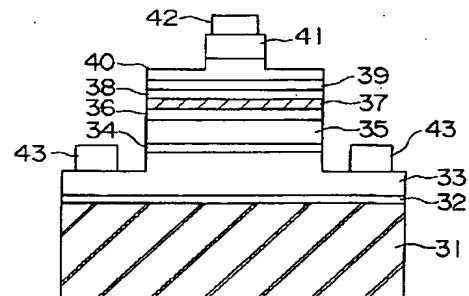
【図2】



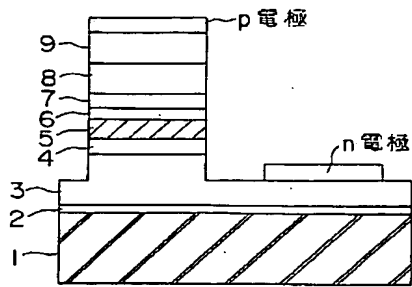
【図3】



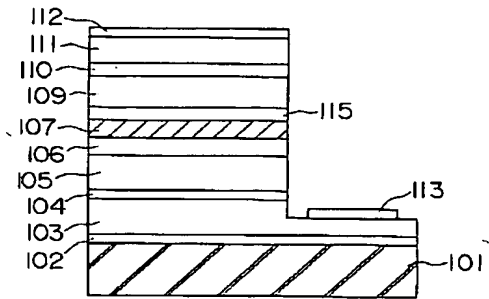
【図4】



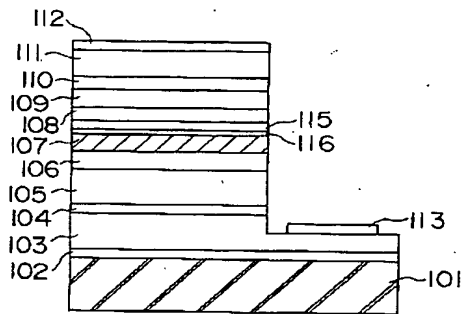
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA40 CA04 CA05 CA14 CA34
CA40 CA46 CA65
5F045 AA04 AB14 AB17 AB18 AC19
AD09 AD11 AD12 AD13 AD14
AF09 AF13 BB12 CA12 DA53
DA55 EK26 EK27
5F073 AA45 AA51 AA74 CA07 CA17
CB05 CB06 DA05 EA28